

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 102 34 080.3  
**Anmeldetag:** 26. Juli 2002  
**Anmelder/Inhaber:** Philips Corporate Intellectual Property GmbH,  
Hamburg/DE  
**Bezeichnung:** Gleichspannungsabwärtswandler  
**IPC:** H 02 M 3/10

Best Available Copy

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 03. April 2003  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

Faust

**PRIORITY  
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

## BESCHREIBUNG

### Gleichspannungsabwärtswandler

Die Erfindung betrifft Gleichspannungsabwärtswandler mit einem geschaltetem Gleichrichter ("synchronous rectifier"), einem eingangsseitigen Schaltelement und einer  
5 ausgangsseitigen Induktivität.

Derartige Gleichspannungsabwärtswandler (buck converter for DC/DC conversion) dienen beispielsweise zur Stromversorgung von digitalen Schaltkreisen insbesondere Prozessoren von PCs, wobei eine Spannungswandlung von typischerweise 5 ... 12 Volt  
10 auf 1,5 ... 3,3 Volt erfolgt. Bei modernen digitalen Schaltkreisen verschiebt sich die zu erzeugende Versorgungsgleichspannung auf Werte noch unterhalb von 1,5 Volt, wobei der Gleichspannungsabwärtswandler zusätzlich auf zunehmend schnellere Lastschwankungen anzupassen ist. Dementsprechend ist ein Betrieb des Abwärtswandlers mit entsprechend hohen Schaltfrequenzen der verwendeten Schaltelemente (geschalteter  
15 Gleichrichter und eingangsseitiges Schaltelement, die üblicherweise Feldeffekttransistoren sind) erforderlich, wobei steigende Schaltfrequenzen jedoch zu steigenden Verlusten führen. Deshalb lässt sich die Schaltfrequenz nicht beliebig erhöhen. Um dennoch schnellere Lastschwankungen ermöglichen zu können, werden die Ausgangsfilterkapazitäten der betreffenden Abwärtswandler erhöht, was allerdings zu steigenden  
20 Kosten führt.

Bei größer werdenden Schaltfrequenzen wird das Verhältnis der Schaltverluste zu den im leitenden Zustand der Schaltelemente erzeugten Verlusten immer größer. So werden einerseits die Verluste immer größer, die beim abwechselnden Ein- und Ausschalten des  
25 geschalteten Gleichrichters und des eingangsseitigen Schaltelements aufgrund eines gleichzeitigen Vorliegens von Strömen und Spannungen an den Schaltelementen während des Übergangs zwischen Ein- und Ausschaltphasen entstehen. Andererseits nehmen bei steigenden Schaltfrequenzen Verluste aufgrund von Rückströmen der Body-

Diode des üblicherweise als Feldeffekttransistor ausgeführten geschalteten Gleichrichters ("reverse recovery") einen erheblichen Anteil an den Gesamtverlusten ein. Darüber hinaus entstehen Verluste durch das harte Umladen der parasitären Kapazitäten (insbesondere der beiden Schaltelemente).

5

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Gleichspannungsabwärtswandler zu schaffen, der schnelle Lastschwankungen ermöglicht, möglichst kostengünstig ist und möglichst geringe Betriebsverluste erzeugt.

- 10 Die Aufgabe wird gelöst durch eine Hilfsschaltung, die ein Hilfsschaltelement, einen Hilfsgleichrichter und eine Hilfsinduktivität aufweist, wobei die Hilfsschaltung mit der Verbindung zwischen dem geschalteten Gleichrichter, dem eingangsseitigen Schaltelement und der ausgangsseitigen Induktivität gekoppelt ist.
- 15 Mittels einer solchen Hilfsschaltung lassen sich sowohl ein nahezu spannungsloses Schalten (sogenanntes "Zero Voltage Switching") beim eingangsseitigen Schaltelement und beim geschalteten Gleichrichter sicherstellen als auch Verluste aufgrund von Rückströmen der Body-Diode des geschalteten Gleichrichters vermeiden.
- 20 Anspruch 2 erläutert die Anordnung der Elemente der Hilfsschaltung.

Die Merkmale nach Anspruch 3 geben den Zeitrahmen an, in dem das Hilfsschaltelement im eingeschalteten Zustand ist, so dass Verluste aufgrund von Rückströmen der Body-Diode des geschalteten Gleichrichters vermieden werden.

25

Anspruch 4 beschreibt den Einschaltzeitpunkt des eingangsseitigen Schaltelements, so dass Zero Voltage Switching ermöglicht wird. Anspruch 5 stellt alternativ zum Ansatz in Anspruch 4 auf eine Spannungsmessung ab, so dass sichergestellt werden kann, dass das Einschalten des eingangsseitigen Schaltelements bei einer ausreichend kleinen Spannung

30 erfolgt.

Anspruch 6 beschreibt einen geeigneten Ausschaltzeitpunkt des geschalteten Gleichrichters.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird nachfolgend anhand der Zeichnungen näher  
5 erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 einen erfindungsgemäßen Gleichspannungsabwärtswandler und  
Fig. 2A bis 2I Zeitabläufe für Spannungen und Ströme im Betrieb des  
Gleichspannungsabwärtswandlers aus Fig. 1.

10

Der in Fig. 1 gezeigte Gleichspannungsabwärtswandler weist ein eingangsseitiges Schaltelement C, einen geschalteten Gleichrichter S und eine ausgangsseitige Induktivität L auf. Sowohl das eingangsseitige Schaltelement C als auch der geschaltete Gleichrichter S sind als Feldeffekttransistoren ausgeführt. Das Schaltelement C weist eine zwischen  
15 dessen Drain- und Source-Anschluss liegende Body-Diode  $D_C$  und eine dazu parallele Kapazität  $C_C$  auf, die bei Bedarf zusätzlich zur parasitären Kapazität des Schaltelements C auch eine externe Kapazität umfassen kann. Der geschaltete Gleichrichter S weist eine zwischen dessen Drain- und Source-Anschluss liegende Body-Diode  $D_S$  und eine dazu parallele Kapazität  $C_S$  auf, die bei Bedarf ebenfalls zusätzlich zur parasitären Kapazität  
20 des Schaltelements S eine externe Kapazität umfassen kann. Das Schaltelement C, der geschaltete Gleichrichter S und die Induktivität L sind als Sternschaltung angeordnet und in einem Knotenpunkt P1 miteinander verbunden. Am Eingang des Gleichspannungsabwärtswandlers wird eine Eingangsspannung  $U_{in}$  zugeführt. Am Ausgang des Gleichspannungsabwärtswandlers ist eine Ausgangsspannung  $U_{out}$  abgreifbar, die an einer  
25 Ausgangskapazität  $C_{out}$ , die einen oder mehrere Kondensatoren umfassen kann, abfällt. Die Ausgangskapazität  $C_{out}$  liegt in Reihe zur Induktivität L.

Weiterhin ist eine Hilfsschaltung H vorgesehen, die aus einem Hilfsschaltelement A, einem als Diode ausgeführten Hilfsgleichrichter  $D_{aux}$  und einer als Spule ausgeführten  
30 kleinen Hilfsinduktivität  $L_{aux}$  besteht, die in einer Sternschaltung mit einem Knotenpunkt

P2 angeordnet sind. Das Hilfsschaltelement A ist als Feldeffekttransistor mit einer zwischen den Drain- und Source-Anschlüssen liegenden Body-Diode  $D_A$  und einer zu dieser parallel liegenden Kapazität  $C_A$  ausgeführt, die die parasitäre Kapazität des Hilfsschaltelements A ist. Die Hilfsschaltung H ist mit dem Knotenpunkt P1 verbunden und

5 liegt zwischen dem Eingang des Gleichspannungsabwärtswandlers, an dem die Spannung  $U_{in}$  anliegt, und dem geschalteten Gleichrichter S. Dabei ist hier der Drain-Anschluss des Hilfsschaltelements A mit dem das positive Potential der Eingangsspannung  $U_{in}$  tragenden Eingangsanschluss verbunden. Der andere Eingangsanschluss liegt auf einem Bezugspotential GND, das auch mit der Anode der Diode  $D_{aux}$ , dem Source-Anschluss

10 des geschalteten Gleichrichters S und einem Anschluss der Ausgangskapazität  $C_{out}$  verbunden ist. Die Kathode der Diode  $D_{aux}$  ist mit dem Source-Anschluss des Hilfsschaltelements A und einem Anschluss der Hilfsinduktivität  $L_{aux}$  verbunden, wobei der andere Anschluss der Hilfsinduktivität  $L_{aux}$  mit dem Punkt P1 verbunden ist.

15 Fig. 2A bis Fig. 2I zeigen verschiedene Spannungs- und Stromverläufe, die den Betrieb der Schaltungsanordnung nach Fig. 1 näher erläutern:

- Fig. 2A : Potential GA am Steueranschluss (Gate-Anschluss) des Hilfsschaltelements A;
- 20 Fig. 2B : Potential GC am Steueranschluss (Gate-Anschluss) des eingangsseitigen Schaltelements C;
- Fig. 2C : Potential GS am Steueranschluss (Gate-Anschluss) des geschalteten Gleichrichters S;
- Fig. 2D : Strom IAM durch das Hilfsschaltelement A in Richtung des Knotenpunkts
- 25 P2;
- Fig. 2E : Strom IC durch das eingangsseitige Schaltelement C in Richtung des Knotenpunkts P1;
- Fig. 2F : Strom IS durch den geschalteten Gleichrichter S in Richtung vom Knotenpunkt P1 zum Bezugspotential GND;
- 30 Fig. 2G : Strom IAD vom Bezugspotential GND durch den Hilfsgleichrichter  $D_{aux}$  in

Richtung des Knotenpunkts P2;

Fig. 2H : Spannung UC am eingangsseitigen Schaltelement C in Richtung von der Eingangsspannung Uin zum Knotenpunkt P1 und

Fig. 2I : Spannung US am geschalteten Gleichrichter S in Richtung vom Knotenpunkt P1 zum Bezugspotential GND.

5

Zeitraum  $t_0 \leq t < t_1$ :

Zum Zeitpunkt  $t_0$  wird das Hilfsschaltelement A eingeschaltet. Zu diesem Zeitpunkt ist das eingangsseitige Schaltelement C ausgeschaltet und der synchrone Gleichrichter S eingeschaltet. Das Einschalten des Hilfsschaltelements A führt dazu, dass der Strom IAM vom Wert Null an steil ansteigt, wobei die Steilheit des Anstiegs vom Wert der Induktivität  $L_{aux}$  abhängt, die klein gegenüber der Induktivität L ist. Das Einschalten des Hilfsschaltelements A erfolgt also mit sogenanntem "Zero Current Switching", d.h. bei einem Strom IAM von Null. Der Strom IC durch das eingangsseitige Schaltelement C ist gleich Null. Dem Strom IS, der bis zum Zeitpunkt  $t_0$  mit einer flachen Steigung ansteigt (was einem betragsmäßigen Fallen des zu diesem Zeitpunkt negativen Strom IS entspricht), wird der Strom IAM überlagert, so dass IS mit einer entsprechend größeren Steigung ansteigt und zwischen dem Zeitpunkt  $t_0$  und einem nachfolgenden Zeitpunkt  $t_1$  in den positiven Wertebereich übergeht, so dass ab jetzt mit positiven Werten von IS ein Ausschalten des geschalteten Gleichrichters ohne Verluste generierende Rückströme (reverse recovery) der Body-Diode DS möglich ist, da die Body-Diode bei üblicherweise verwendeten MOSFETs nie Strom geführt hat. Der Gleichrichter  $D_{aux}$  sperrt und IAD ist Null, solange das Hilfsschaltelement A eingeschaltet ist. Die Spannung UC ist gleich der Eingangsspannung Uin. Die Spannung US ist gleich Null.

25

Zeitraum  $t_1 \leq t < t_2$ :

Das Hilfsschaltelement A bleibt eingeschaltet und das Schaltelement C bleibt hier ausgeschaltet, wobei allerdings grundsätzlich ab dem Zeitpunkt  $t_1$  ein Einschalten des Schaltelements C zulässig ist (angedeutet durch den Doppelpfeil an der ansteigenden Flanke des Steuerpotentials GC in Fig. 2B), da ab diesem Zeitpunkt der Strom IC

30

negativ ist und somit bei leitender Body-Diode  $D_C$  ein Einschalten des Schaltelements C mit Schaltverluste minimierendem Zero Voltage Switching möglich ist. Zum Zeitpunkt  $t_1$  wird der geschaltete Gleichrichter S ausgeschaltet. Der Strom  $I_{AM}$  bleibt zwischen  $t_1$  und  $t_2$  im wesentlichen konstant. Der Strom  $I_C$  springt auf einen negativen Wert und bleibt bis zum Zeitpunkt  $t_2$  nahezu konstant. Der Strom  $I_S$  hat nun den Wert Null angenommen. Der Strom  $I_{AD}$  ist immer noch Null. Die Spannung  $U_C$  geht auf Null zurück, wobei die Steilheit des Abfalls von  $U_C$  von der Größe der Kapazitäten  $C_C$  und  $C_S$  abhängt, die während des Abfalls umgeladen wird. Die gestrichelte abfallende Linie in Fig. 2H zeigt einen Fall, wo die Spannung verzögert erst zum Zeitpunkt  $t_1'$  auf Null abgefallen ist. Vorzugsweise wird die Spannung  $U_C$  gemessen und mit einem Schwellwert verglichen; wenn die Spannung  $U_C$  ausreichend stark abgefallen ist, kann das Schaltelement C eingeschaltet werden, wobei dann nur entsprechend kleine Verluste im Schaltelement C erzeugt werden. Die Spannung  $U_S$  am Schaltelement S steigt ab dem Zeitpunkt  $t_1$  auf den Wert der Eingangsspannung  $U_{in}$  an, wobei die Steilheit des Anstiegs wiederum von der Größe der während des Anstiegs der Spannung  $U_S$  umgeladenen Kapazitäten  $C_C$  und  $C_S$  abhängt. Die gestrichelte ansteigende Linie in Fig. 2I zeigt einen Fall, wo die Spannung  $U_S$  verzögert erst zum Zeitpunkt  $t_1'$  auf den Wert von  $U_{in}$  angestiegen ist. Das Ausschalten des Schaltelements S zum Zeitpunkt  $t_1$  erfolgt mit Zero Voltage Switching, d. h.  $U_S$  ist gleich Null im Zeitpunkt  $t_1$ .

20

Zeitraum  $t_2 \leq t < t_3$ :

Zum Zeitpunkt  $t_2$  wird das Hilfsschaltelement A ausgeschaltet, so dass der Strom  $I_{AM}$  zu Null wird. Die Induktivität  $L_{aux}$  entlädt sich über den Gleichrichter  $D_{aux}$ , durch den nun ein sinkender Strom  $I_{AD}$  fließt. Der Strom  $I_C$  nimmt betragsmäßig ausgehend von dem (negativen) Wert zum Zeitpunkt  $t_2$  ab, bis er zum Zeitpunkt  $t_3$  den Wert Null erreicht hat. Das Schaltelement C wird zum Zeitpunkt  $t_2'$  eingeschaltet; dies erfolgt bei leitender Body-Diode  $D_C$  oder bei einer detektierten betragsmäßig ausreichend niedrigen Spannung  $U_C$  und demgemäß mit Zero Voltage Switching (siehe auch die obigen Ausführungen zum Zeitraum  $t_1 \leq t < t_2$  zum Zeitraum, in dem das Schaltelement C eingeschaltet werden kann).

Zeitraum  $t_3 \leq t < t_4$ :

Das Hilfsschaltelement A und der geschaltete Gleichrichter S bleiben ausgeschaltet und das Schaltelement C bleibt eingeschaltet. Der Strom IAD durch den Hilfsgleichrichter  $D_{aux}$  fällt stetig mit gleicher Steigung wie im Zeitintervall  $t_2 \leq t < t_3$  weiter ab. Im

- 5 Zeitpunkt  $t_4$  ist der Strom IAD auf Null abgesunken. Der Strom IC steigt stetig mit der gleichen Steigung wie im Zeitintervall  $t_2 \leq t < t_3$  mit dem Wert Null im Zeitpunkt  $t_3$  weiter an.

Zeitraum  $t_4 \leq t < t_5$ :

- 10 Zum Zeitpunkt  $t_4$  hat sich die Hilfsinduktivität  $L_{aux}$  vollständig entladen und der Strom IAD hat demgemäß den Wert Null erreicht und bleibt auf dem Wert Null. Dies hat zur Folge, dass der Strom IC bei weiter eingeschaltetem Schaltelement C schwächer ansteigt als im Zeitintervall  $t_3 \leq t < t_4$ .

- 15 Zeitraum  $t_5 \leq t < t_6$ :

Zum Zeitpunkt  $t_5$  wird das Schaltelement C abgeschaltet und der geschaltete Gleichrichter S eingeschaltet. Demgemäß fällt der Strom IC auf Null ab. Der Strom IS springt bei  $t_5$  von Null auf einen negativen Wert, von dem aus der Strom IS bis zum Zeitpunkt  $t_6$  ansteigt und dabei betragsmäßig entsprechend abnimmt (bei kleinen Lasten oder Null-Last steigt IS bis zum Zeitpunkt  $t_6$  auf positive Werte an). Die Spannung UC steigt bei  $t_5$  auf den Wert von  $U_{in}$ . Die Spannung US fällt bei  $t_5$  auf den Wert von  $U_{in}$ .

- 20 Da das zugehörige Umladen der Kapazitäten  $C_C$  und  $C_S$  nicht beliebig schnell erfolgen kann und das entsprechende Ansteigen der Spannung UC und Abfallen der Spannung US nicht mit unendlicher Steigung erfolgt, wird eine kleine Totzeit (in Fig. 2A bis 2I nicht  
25 erkennbar) für das Einschalten des Schaltelements S vorgesehen, d.h. das Schaltelement S wird erst kurze Zeit nach dem Ausschalten des Schaltelements C durchgeführt, so dass sichergestellt ist, dass das Einschalten des Schaltelements S mit Zero Voltage Switching erfolgt.



Ab dem Zeitpunkt  $t_6$  wiederholen sich die Vorgänge, die für den Zeitraum  $t_0$  bis  $t_6$  beschrieben wurden.

Die Abläufe zwischen den Zeitpunkten  $t_0$  und  $t_4$  sind in Fig. 2A bis Fig. 2I zeitlich  
5 gedehnt dargestellt, um die Erfindung erläutern zu können. Tatsächlich ist das Verhältnis  
des Zeitraums von  $t_0$  bis  $t_4$  zum Zeitraum  $t_0$  bis  $t_6$  erheblich kleiner als in den in Fig. 2A  
bis Fig. 2I dargestellt.

PATENTANSPRÜCHE

1. Gleichspannungsabwärtswandler mit einem geschaltetem Gleichrichter, einem eingangsseitigen Schaltelement, einer ausgangsseitigen Induktivität und mit einer Hilfsschaltung, die ein Hilfsschaltelement, einen Hilfsgleichrichter und eine Hilfsinduktivität aufweist, wobei die Hilfsschaltung mit der Verbindung zwischen dem geschaltetem Gleichrichter, dem eingangsseitigen Schaltelement und der ausgangs-  
5 seitigen Induktivität gekoppelt ist.
2. Gleichspannungsabwärtswandler nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet,
- 10 dass erste Anschlüsse des Hilfsschaltelements, des Hilfsgleichrichters und der Hilfsinduktivität miteinander verbunden sind, wobei
- der zweite Anschluss des Hilfsschaltelements mit einem Eingangsanschluss des Abwärtswandlers verbunden ist,
  - der zweite Eingangsanschluss des Abwärtswandlers mit dem zweiten Anschluss des  
15 Hilfsgleichrichters und einem Anschluss des geschalteten Gleichrichters verbunden ist und
  - der zweite Anschluss der Hilfsinduktivität mit dem zweiten Anschluss des geschalteten Gleichrichters verbunden ist.
- 20 3. Gleichspannungsabwärtswandler nach Anspruch 1 oder 2,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass ein Einschalten des Hilfsschaltelements bei eingeschaltetem geschalteten Gleichrichter und ausgeschaltetem eingangsseitigen Schaltelement vorgesehen ist und

dass ein Ausschalten des Hilfsschaltelements nach dem anschließenden Ausschalten des geschalteten Gleichrichters vorgesehen ist.

4. Gleichspannungsabwärtswandler nach einem der Ansprüche 1 bis 3,

5 dadurch gekennzeichnet,

dass ein Einschalten des als Feldeffekttransistor ausgebildeten eingangsseitigen Schaltelements bei einem in Durchflussrichtung der Body-Diode des eingangsseitigen Schaltelements fließenden Strom vorgesehen ist.

10 5. Gleichspannungsabwärtswandler nach einem der Ansprüche 1 bis 3,

dadurch gekennzeichnet,

dass ein Messen der Spannung am eingangsseitigen Schaltelement vorgesehen ist und dass das Einschalten des eingangsseitigen Schaltelements erst erfolgt, wenn die gemessene Spannung am eingangsseitigen Schaltelement einen vorgebbaren Schwellwert  
15 erreicht.

6. Gleichspannungsabwärtswandler nach einem der Ansprüche 1 bis 5,

dadurch gekennzeichnet,

dass ein Ausschalten des als Feldeffekttransistor ausgebildeten geschalteten

20 Gleichrichters bei einem von der Verbindung zwischen dem geschalteten Gleichrichter, dem eingangsseitigen Schaltelement und der ausgangseitigen Induktivität hin zum geschalteten Gleichrichter fließenden Strom vorgesehen ist.

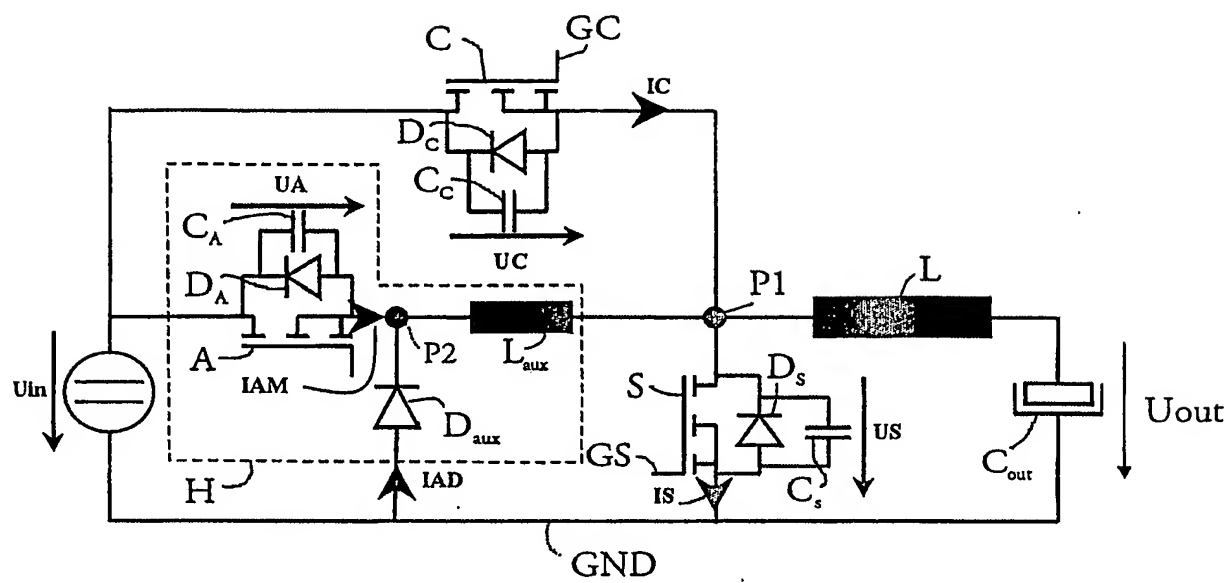


FIG. 1

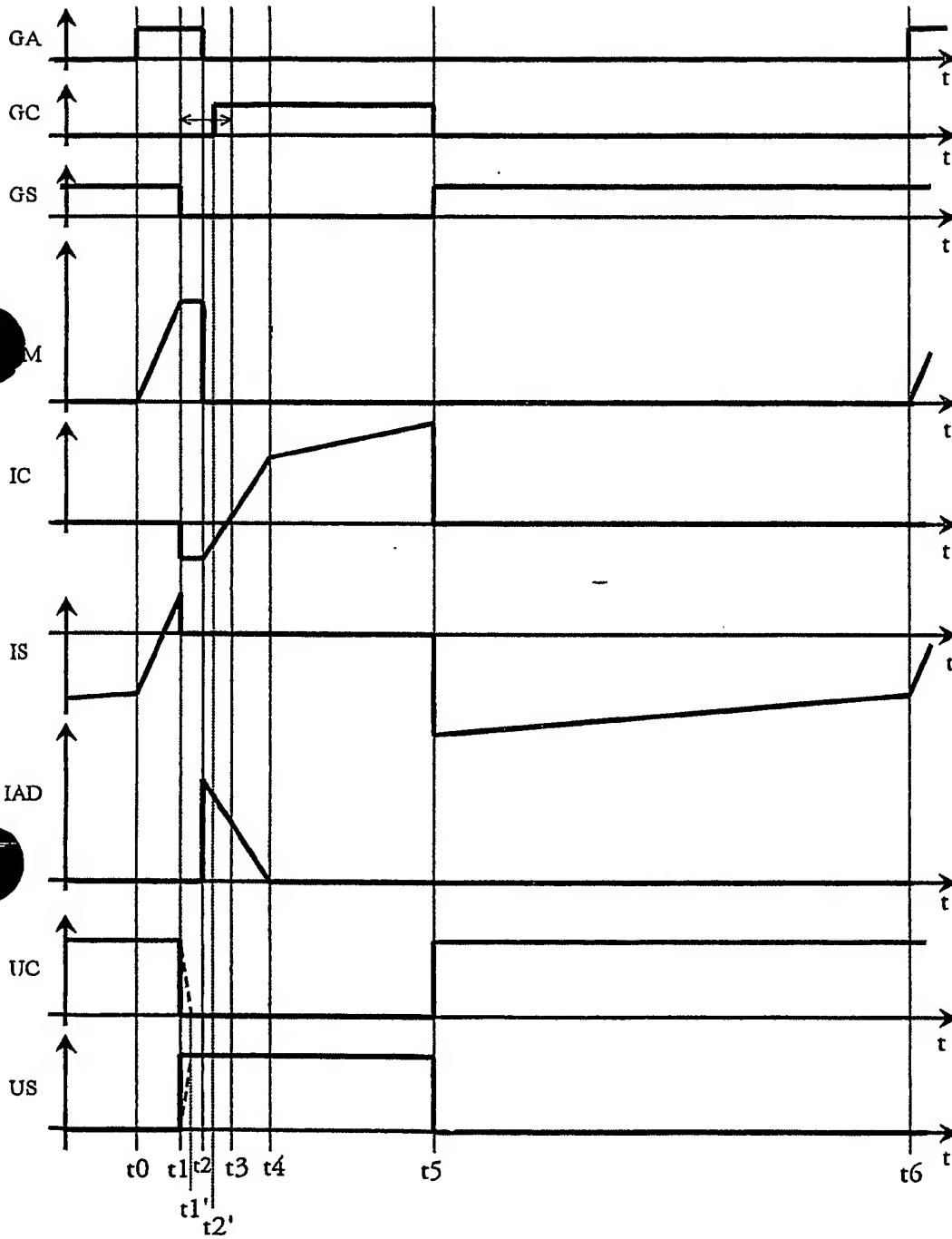


FIG. 2A

FIG. 2B

FIG. 2C

FIG. 2D

FIG. 2E

FIG. 2F

FIG. 2G

FIG. 2H

FIG. 2I

ZUSAMMENFASSUNG

## Gleichspannungsabwärtswandler

Die Erfindung betrifft Gleichspannungsabwärtswandler mit einem geschaltetem Gleichrichter ("synchronous rectifier"), einem eingangsseitigen Schaltelement und einer ausgangsseitigen Induktivität. Um schnelle Lastschwankungen zu ermöglichen sowie Kosten und Betriebsverluste zu senken, wird vorgeschlagen, eine Hilfsschaltung vorzusehen, die ein Hilfsschaltelement, einen Hilfsgleichrichter und eine Hilfsinduktivität aufweist, wobei die Hilfsschaltung mit der Verbindung zwischen dem geschaltetem Gleichrichter, dem eingangsseitigen Schaltelement und der ausgangsseitigen Induktivität gekoppelt ist.

Fig. 1

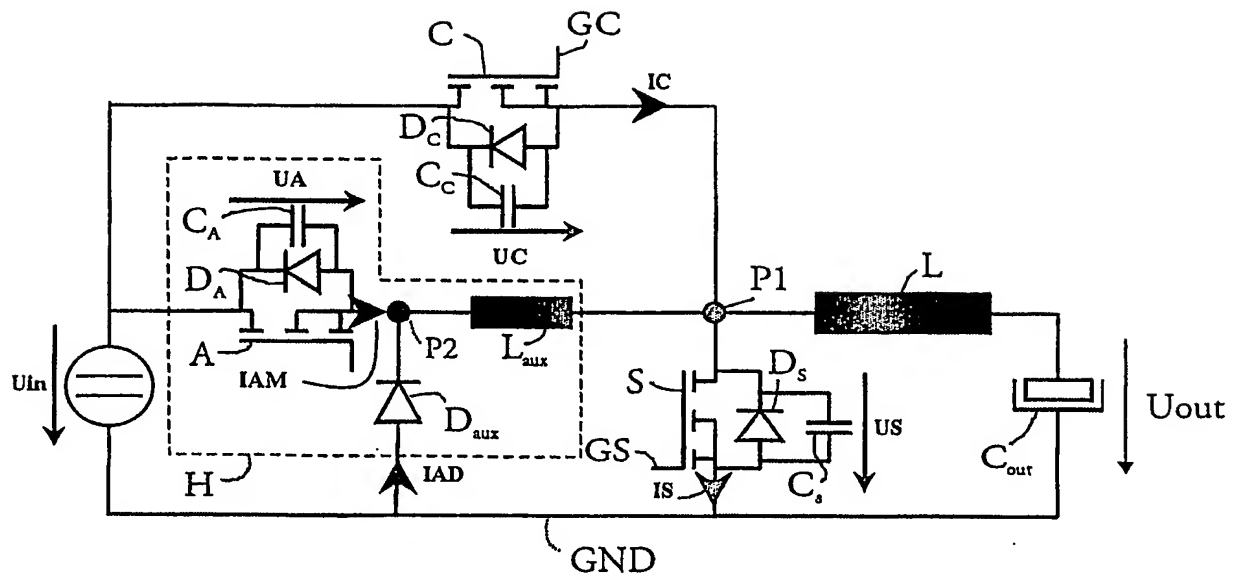


FIG. 1

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☒ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☒ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☒ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**